نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۹، ص. ۱۳۳۶-۱۳۲۳

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 6, Jan.-Feb. 2021, p. 1323-1336

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارکرد زیست‌محیطی پخش‌سیلاب از نظر ترسیب کربن در خاک و گیاه

محمدجواد روستا[1]*- کوکب عنایتی[2]- سید مسعود سلیمان‌پور[3]- کورش کمالی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

چکیده

ارزیابی نقش آبخوان‌داری در ترسیب دی‌اکسیدکربن موجود در هوا به شکل کربن آلی، هدف این پژوهش بود. با نمونه‌برداری از خاک و گیاهان در کاربری‌های جنگل دست کاشت اوکالیپتوس با و بدون پخش‌سیلاب و جنگل دست کاشت آکاسیا همراه با پخش‌سیلاب، مرتع بدون پخش‌سیلاب و مرتع با پخش‌سیلاب، مقدار کربن آلی اندازه‌گیری گردید و در نهایت کل ترسیب کربن محاسبه شد. داده‌ها، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شد و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تأثیر کاربری‌های مختلف بر مقدار کربن آلی و ترسیب کربن در خاک و گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. جنگل‌کاری با اوکالیپتوس کامالدولنسیس همراه با پخش سیلاب، میزان کربن‌آلی خاک را از ۰/۵۱ درصد در شاهد (اوکالیپتوس بدون پخش‌سیلاب) به ۱/۶۸ درصد در نوار اول جنگل اوکالیپتوس افزایش داد (۳/۲۹ برابر). با محاسبه‌ی میانگین عرصه‌هایی که در آن‌ها اوکالیپتوس کاشته شده بود، مشخص شد بیشترین کربن به‌میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار در این کاربری در درختان، لاشبرگ و در خاک (تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) زیر پوشش آن‌ها ذخیره شده است. با توجه به این که هر تن کربن، معادل ۳/۶۷ تن دی‌اکسیدکربن است، می‌توان نتیجه گرفت که هر هکتار از جنگل اوکالیپتوس ۴۴۷/۱۵ تن دی‌اکسیدکربن هوا را به‌صورت ماده‌ی آلی ذخیره کرده است. ارزش اقتصادی مقدار کربن ذخیره شده معادل ۳/۷۶ میلیارد ریال در هکتار محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: آکاسیا، اوکالیپتوس، پخش‌سیلاب، ذخیره‌ی کربن، فارس

مقدمه *

خاک بزرگ‌ترین ذخیره‌گاه کربن آلی در سطح زمین است، به طوری که میزان کربن ذخیره شده در خاک بیش از سه برابر مقدار آن در اتمسفر می‌باشد (۱۱) و در مجموع، ۱۵۰۰ تا ۲۴۰۰ گیگا تن (پتا گرم، 10^{15} گرم) کربن تا عمق ۱ متر تخمین زده می‌شود (۲۸ و ۳۳).

غلظت CO_2 موجود در اتمسفر و دیگر گازهای گلخانه‌ای (GHGs) را می‌توان با کاهش انتشار CO_2 به اتمسفر و یا با جذب آن از اتمسفر از طریق فتوسنتز و ذخیره‌ی آن در خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و اکوسیستم‌های آب شیرین کاهش داد (۵). ترسیب کربن به‌وسیله‌ی جنگل‌ها، مراتع، توده‌های جنگل‌کاری شده و خاک مناسب‌ترین راهکار کاهش کربن اتمسفری می‌باشد. ترکیبی از تمامی این فعالیت‌ها می‌تواند با کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، به متعادل کردن فرآیند گرم شدن زمین کمک کند (۱). مقدار ترسیب و کیفیت ذخیره‌ی کربن در خاک بستگی به تعامل میان آب و هوا، خاک، گونه‌های درختی، ترکیبات شیمیایی لاشبرگ و مدیریت آن‌ها دارد (۱۴).

پیشنهاد شده است که ترسیب کربن در خاک از طریق بهبود روش‌های مدیریت خاک و اراضی، می‌تواند یک استراتژی مهم برای حذف گازهای گلخانه‌ای باشد (۱۵ و ۳۱). با این‌حال، میزان و نرخ ترسیب کربن آلی در خاک، تحت روش‌های مختلف استفاده از زمین و مدیریت می‌تواند بسته به ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و آب و هوا بسیار متفاوت باشد (۳ و ۱۵).

نجم‌الدینی (۱۹) دریافت که میزان کربن ذخیره شده با نوع پوشش گیاهی رابطه‌ی مستقیم و مثبت دارد، به‌طوری که بین میزان

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار، کارشناسی‌ارشد و استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(* - نویسنده‌ی مسئول: Email: m.roosta@areeo.ac.ir)
۴- مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2020.15049.0

ذخیره‌ی کربن پوشش گیاهی و فرم‌های متفاوت رویشی نظیر علوفه‌ای، بوته‌ای و خشبی و گستردگی سطوح اندام‌های گیاهی با میزان کربن ذخیره شده رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری وجود داشت.

تمرتاش و همکاران (۳۲) پتانسیل ذخیره‌ی کربن در خاک درختچه‌های انار وحشی و گونه‌های بوته‌ای چند ساله و علفی یک ساله مراتع جلگه‌ای میانکاله شهرستان بهشهر را به‌ترتیب ۱۲/۵، ۷/۲ و ۲ تن در هکتار در سال برآورد کردند. این پژوهشگران اظهار کردند که ذخیره کربن در خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد. به‌طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلند مدت میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. بررسی تأثیر گونه‌های سرو نقره‌ای، سرو خمره‌ای، زبان‌گنجشک و اقاقیا بر ویژگی‌های خاک نشان داد که pH ، مقدار کربن آلی و نیتروژن کل در خاک زیر پوشش سوزنی‌برگان کمتر از خاک زیر پوشش پهن‌برگان بود (۳۰).

ورامش و همکاران (۳۴) میزان ذخیره‌ی کربن در خاک زیر پوشش اقاقیا و کاج تهران را به‌ترتیب، ۷۸/۱۹ و ۵۷/۰۰ تن در هکتار گزارش کردند. باده‌یان و همکاران (۲) ارزش کارکرد ترسیب کربن در توده‌ی خالص راش را ۹/۵ میلیون ریال (هکتار در سال) و توده‌ی آمیخته‌ی راش را ۸/۳ میلیون‌ریال (هکتار در سال) محاسبه کردند.

محمودی‌طالقانی و همکاران (۱۸) به این نتیجه رسیدند که تأثیر ترکیب گونه‌ای و تیپ جنگل در فرایند ترسیب کربن در افق‌های آلی و معدنی خاک بسیار اثرگذار است.

نوبخت و همکاران (۲۱) در مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در جنگل‌کاری‌های خالص سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در مازندران به این نتیجه دست یافتند که میزان ترسیب کربن در خاک توده‌ی پیسه‌آ بیش‌تر از کاج سیاه، ون و بلوط بلند مازو است.

نتایج پژوهش‌های دیناکاران و کریشنایا (۶) و زرافشار و همکاران (۳۶) نشان داد نوع پوشش، تأثیر معنی‌داری بر ذخیره‌ی کربن خاک می‌گذارد. به‌طوری که مقدار ذخیره‌ی کربن در خاک، بستگی به مقدار ورودی کربن به خاک از راه بقایای گیاهی و هدر رفت کربن از راه تجزیه دارد. برای افزایش کربن در خاک، باید فعالیت‌های مدیریتی نظیر افزایش میزان کربن وارد شده به خاک از طریق اضافه شدن لاشبرگ و بقایای گیاهی و نیز کاهش میزان تجزیه‌ی مواد آلی خاک انجام شود.

سرعت تجزیه‌ی مواد آلی خاک تحت تأثیر وضعیت خاک (رطوبت، دما و دسترسی به اکسیژن)، ترسیب مواد آلی، قرار گرفتن مواد آلی در خاکرخ و میزان حفاظت فیزیکی خاکدانه‌ها قرار می‌گیرد. در اثر عوامل مؤثر بر ترسیب یا تجزیه‌ی کربن در برخی از موارد، میزان ترسیب کربن از میزان تجزیه‌ی آن بیش‌تر و در برخی موارد نیز برعکس است (۵).

تاکنون بررسی‌های زیادی در زمینه‌ی تأثیر پخش‌سیلاب بر کمیت و کیفیت پوشش گیاهی و همچنین بر ویژگی‌های مختلف خاک در ایستگاه آبخوان‌داری کوثر صورت گرفته و نقش مثبت پخش سیلاب را بر شاخص‌های مورد بررسی نشان داده است. متأسفانه، مطالعه جامعی در خصوص تأثیر پخش‌سیلاب بر میزان ترسیب کربن در خاک و گیاه و ارزش اقتصادی آن انجام نشده که در پژوهش حاضر، به این مهم پرداخته شده است. این پژوهش، با هدف ارزیابی تأثیر کاربری‌های مرتع بدون پخش‌سیلاب، مرتع با پخش‌سیلاب، جنگل‌کاری با اوکالیپتوس با و بدون پخش‌سیلاب و جنگل‌کاری با آکاسیا همراه با پخش‌سیلاب بر میزان ذخیره‌ی کربن در اندام‌های گیاهی و در خاک و محاسبه‌ی ارزش اقتصادی آن، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

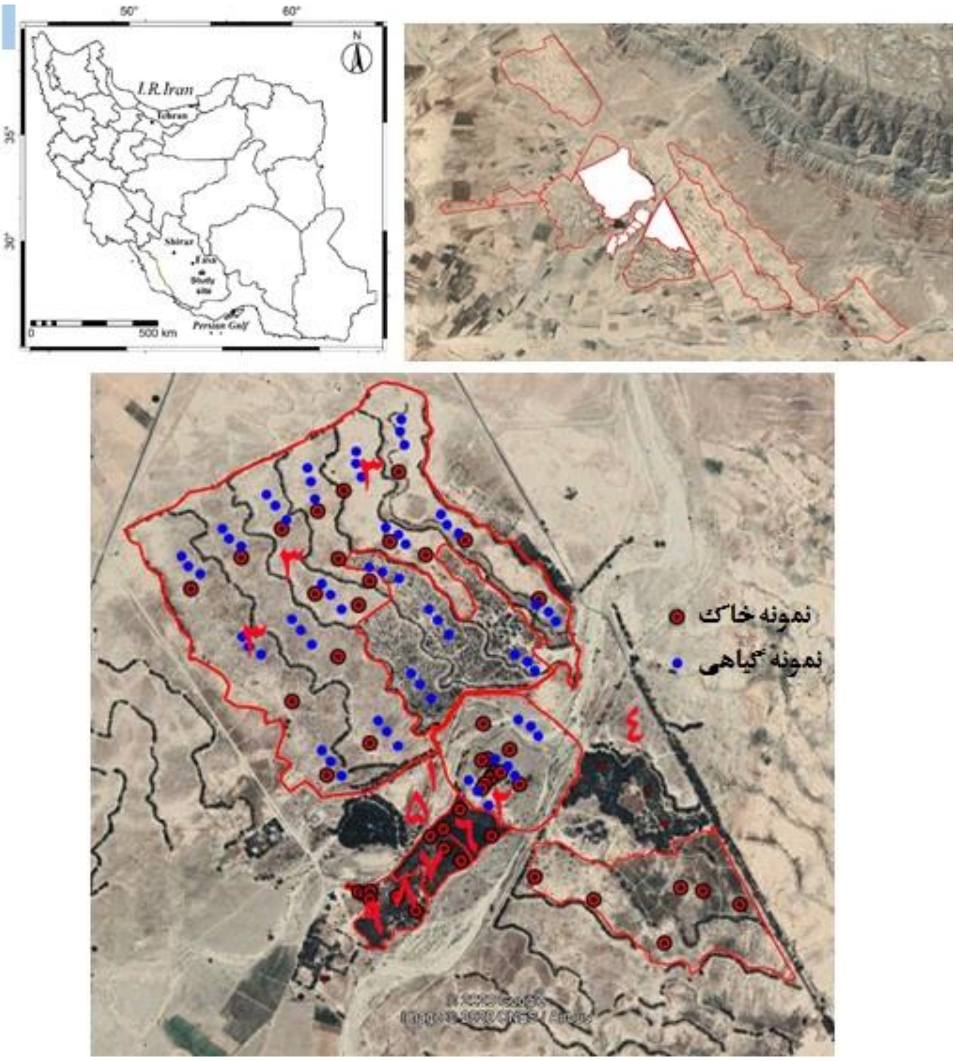
این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۶ در ایستگاه تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش‌سیلاب و آبخوان‌داری کوثر، در دشت گربایگان فسا انجام شد. پخش‌سیلاب برای تغذیه‌ی آبخوان‌ها از سال ۱۳۶۱ در پهنه‌ای به وسعت ۲۲۰۰ هکتار در این دشت به‌وسیله‌ی آقای دکتر سید آهنگ کوثر اجرا شده است. ایستگاه کوثر در ۵۰ کیلومتری جنوب‌شرقی فسا در موقعیت "۲۸°۳۸ عرض شمالی و "۵۳°۵۵ طول شرقی بر مخروط افکنه‌ی آبخیز ۱۹۲ کیلومتر مربعی بیشه‌زرد در بخش شیب‌کوه و دهستان میان‌ده واقع شده است. شیب عمومی منطقه ۶ در هزار است که بین خط ارتفاعی ۱۱۴۰ تا ۱۱۶۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بر اساس آمار ۲۳ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۵) این ایستگاه، شاخص‌های آب و هوایی منطقه، میانگین بارش سالانه، ۲۱۹ میلی‌متر؛ دمای بیشینه، ۴۶ درجه‌ی سانتی‌گراد؛ دمای کمینه، ۸- درجه‌ی سانتی‌گراد؛ میانگین دمای سالانه، ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد؛ میانگین تبخیر سالانه، ۲۵۴۸ میلی‌متر؛ متوسط تعداد روزهای یخبندان، ۲۷ روز در سال است (۹).

کاربری‌های مورد بررسی

نه کاربری که از آن‌ها نمونه‌برداری شد به‌شرح زیر بودند: ۱- مرتع- بدون پخش‌سیلاب- بدون قرق (شاهد)، ۲- مرتع-قرق- بدون پخش‌سیلاب، ۳- شش عرصه‌ی مرتع- بدون قرق- با پخش‌سیلاب، ۴- مرتع- آتریپلکس (*Atriplex lentiformis* (Torr.) Wats.) دست کاشت- با پخش‌سیلاب و بدون قرق، ۵- جنگل شاهد اوکالیپتوس- بدون پخش‌سیلاب، ۶- جنگل متراکم اوکالیپتوس- نوار اول- با پخش‌سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۷- جنگل اوکالیپتوس- نوار دوم- با پخش‌سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۸- جنگل اوکالیپتوس- نوار سوم- با پخش‌سیلاب- شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۹-

جنگل آکاسیا (*Acacia salicina* Lindl.)-با پخش سیلاب-شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴.

گیاهان بوته‌ای غالب در مراتع مورد بررسی، شامل سیاه‌گینه (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr.) Van Tiegh.)، گل‌آفتابی (*Heliantemum lippii* L. (Pers.)) و درمنه‌ی دشتی (*Artemisia sieberi* Besser.) می‌باشد. تفاوت نوارهای یک، دو و سه جنگل‌کاری شده با درختان اوکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)، در میزان تراکم درختان و حجم آبگیری است. در کاربری‌های ۳ و ۴، از سال ۱۳۶۱ تاکنون و در کاربری‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ از سال ۱۳۶۳ تاکنون، عملیات پخش‌سیلاب انجام می‌شود. از هر کاربری، سه نمونه‌ی مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شد. محل عرصه‌ها و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری

۱- مرتع-بدون پخش‌سیلاب-بدون قرق (شاهد)، ۲-مرتع-قرق-بدون پخش‌سیلاب، ۳- شش عرصه‌ی مرتع- بدون قرق-با پخش‌سیلاب، ۴- مرتع-آتریپلکس دست‌کاشت-با پخش‌سیلاب و بدون قرق، ۵- جنگل شاهد اوکالیپتوس-بدون پخش‌سیلاب، ۶- جنگل اوکالیپتوس-نوار اول-با پخش‌سیلاب-شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۷- جنگل اوکالیپتوس- نوار دوم-با پخش‌سیلاب-شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۸- جنگل اوکالیپتوس- نوار سوم-با پخش‌سیلاب-شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴، ۹- جنگل آکاسیا-با پخش‌سیلاب-شبکه‌ی بیشه‌زرد ۴.

Figure 1- Location of sampling areas

1- Rangeland-without flood spreading-without grazing (control), 2- Rangeland- grazing-without flood spreading, 3- Six rangeland areas-without grazing-with flood spreading, 4- Rangeland-Atriplex hand-planting-with spread flood and without grazing, 5- Eucalyptus control forest-without flood spreading, 6- Eucalyptus forest-first strip-with flood spread-Bishehzard network 4, 7- Eucalyptus forest-second strip-with flood spread-network Bishehzard 4, 8- Eucalyptus forest-Third strip-with flood spreading - Bishehzard 4, 9 - Acacia forest-with flood spread-Bishehzard 4 network.

به‌منظور نمونه‌برداری از گیاهان بوته‌ای، ابتدا با توجه به نتایج پژوهش فروزه (۸)، گیاهان غالب هلیانتموم (*Heliantemum lippii*)، دندورا (*Dendrostellera lessertii*) و درمنه‌ی دشتی (*Artemisia sieberi*) در شش نوار مرتع با پخش‌سیلاب و همچنین در قطعه‌ی شاهد (بدون پخش‌سیلاب) شناسایی شد. در هر نوار و در قطعه‌ی شاهد، برای محاسبه‌ی سطح تاج پوشش، قطرهای متقاطع سه بوته از این گیاهان در ابتدا، وسط و انتهای هر نوار و در شاهد اندازه‌گیری شد. سپس کل اندام‌هوایی گیاه برداشت و توزین گردید. برای تعیین وزن‌خشک گیاه، درصد رطوبت نمونه‌های تهیه شده از هر گیاه با استفاده از آون در دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت تعیین شد. با تعیین وزن‌خشک هر بوته و تقسیم آن بر عدد سطح پوشش، در نهایت وزن خشک اندام هوایی هر گیاه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. با توجه به نسبت ریشه به اندام هوایی بوته‌ها (۸ و ۱۷)، میزان وزن خشک ریشه‌ها نیز محاسبه شد. با جمع وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه‌ها، میزان وزن خشک کل هر بوته محاسبه شد. سپس، با ضرب کردن عدد وزن خشک به‌دست آمده در درصد تاج پوشش هر گیاه، میزان وزن خشک کل در هر هکتار محاسبه گردید. در کاربری مرتع با پخش‌سیلاب، میانگین وزن خشک گیاهان نوارهای اول و دوم به عنوان تکرار ۱، میانگین نوارهای سوم و چهارم به‌عنوان تکرار ۲ و میانگین نوارهای پنجم و ششم به‌عنوان تکرار ۳ در نظر گرفته شد. در کاربری‌های جنگل اوکالیپتوس (نوارهای یک، دو و سه بیشه‌زرد چهار) از ابتدا، وسط و انتهای هر نوار و در کاربری جنگل شاهد اوکالیپتوس (بدون پخش-سیلاب) و همچنین در جنگل آکاسیا، سه درخت به صورت تصادفی انتخاب شد. پس از قطع درختان، اقدام به جدا سازی تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها گردید. علاوه بر این، میزان لاشبرگ تولید شده در زیر درختان نیز با قرار دادن سه پلات یک متر مربعی در هر نوار (قطعه)، جمع-آوری و توزین شد. سپس با قرار دادن نمونه‌هایی به‌وزن ۱۰ گرم در آون با دمای ۷۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، پس از تعیین درصد رطوبت آن‌ها، وزن خشک قسمت‌های مختلف و وزن خشک اندام هوایی هر درخت محاسبه گردید. با توجه به داده‌های بردبار (۴) با در دست داشتن نسبت ریشه به اندام هوایی، وزن خشک ریشه محاسبه شد. با جمع ارقام مربوط به وزن خشک اندام هوایی و ریشه، وزن خشک کل درخت تعیین شد.

اندازه‌گیری کربن آلی

نمونه‌های خشک شده توسط آسیاب برقی پودر شده و میزان کربن آلی موجود در نمونه گیاهان بوته‌ای و درختی (شامل تنه، شاخه، برگ) و لاشبرگ، به روش خاکستر کردن در کوره‌ی الکتریکی به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (۲۳).

میزان کل ذخیره‌ی کربن توسط هر درخت، از مجموع ذخیره‌ی کربن توسط تنه، شاخه، برگ و ریشه به دست آمد. با شمارش درختان اوکالیپتوس و آکاسیا و با توجه به مساحت زیر پوشش این درختان در قطعات مورد بررسی، مقدار ذخیره‌ی کربن در هکتار محاسبه گردید. میزان کل ذخیره‌ی کربن در هر کاربری (تیمار)، از مجموع میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و زیست‌توده‌ی گیاهی و در مورد درختان با اضافه کردن میزان ذخیره‌ی کربن ناشی از لاشبرگ، محاسبه شد.

محاسبه‌ی ارزش اقتصادی کربن ذخیره شده

ارزش اقتصادی- زیست‌محیطی کربن ذخیره شده در خاک بر اساس پیشنهاد ریورز (۲۴)، که میزان مالیات بر کربن را به‌ازای هر تن دی‌اکسیدکربن ۲۰۰ دلار اعلام کرده، محاسبه گردید. با توجه به این که هر تن کربن معادل ۳/۶۷ تن دی‌اکسیدکربن است و میزان مالیات بر کربن به‌ازای هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، معادل ۲۰۰ دلار در نظر گرفته شده است. ابتدا ارقام مربوط به کل ذخیره‌ی کربن در ضریب ۳/۶۷ ضرب شد تا میزان دی‌اکسیدکربن معادل به دست آید. سپس، اعداد به‌دست آمده در عدد ۲۰۰ ضرب شد تا ارزش زیست‌محیطی کربن ذخیره شده برحسب دلار تعیین شود. براساس نرخ رسمی هر دلار (۴۲۰۰۰ ریال) با ضرب اعداد به‌دست آمده در عدد ۴۲۰۰۰، ارزش زیست‌محیطی کربن ذخیره شده محاسبه و برحسب میلیون ریال بیان گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شده و میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تجزیه‌ی واریانس ویژگی‌های مربوط به خاک

نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های مربوط به جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و میزان ذخیره‌ی کربن در خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول ۱، مشخص می‌شود که تأثیر کاربری‌های مختلف، بر جرم مخصوص ظاهری، درصد کربن آلی و میزان ذخیره‌ی کربن در خاک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس ویژگی‌های مورد مطالعه در کاربری‌های مختلف
Table 1- Analysis of variance of studied properties in different land uses

منابع تغییرات Variations resources	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares		
		جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm^3)	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	میزان ذخیره‌ی کربن Carbon stored (Mg/ha)
تکرار Replication	2	0.0017	0.0461	32.99
تیمار (کاربری‌های مختلف) Treatment (different landuses)	8	0.0606**	0.6195**	818.05**
خطا Error	16	0.0034	0.0159	9.40
ضریب تغییرات Coefficient of variations (%)	-	4.84	20.21	12.53

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد
Significant at P< 0.10**

جدول ۲- مقایسه‌ی میانگین ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)
Table 2- Means comparison of studied properties in diffrernt land uses (Depth 0-30 cm)

کاربری Land use	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g/cm^3)	کربن آلی Organic carbon (%)	میزان ذخیره‌ی کربن Carbon stored (Mg/ha)
مرتع- بدون پخش‌سیلاب- بدون قرق (شاهد) Range-whitout flood spreading-with grazing (Control)	1.48 a	0.14 e	6.22 e
مرتع- قرق- بدون پخش‌سیلاب Range-without grazing- whitout flood spreading	1.45 a	0.20 e	8.61 e
مرتع- بدون قرق- پخش‌سیلاب Range-with grazing- with flood spreading	1.43 a	0.43 d	18.26 d
مرتع- آتریپلکس دست‌کاشت- بدون قرق- پخش‌سیلاب Range-Atriplex cultivated-with grazing-whit flood spreading	1.49 a	0.54 cd	24.12 cd
جنگل شاهد اوکالیپتوس- بدون پخش‌سیلاب Eucalypt forest- without flood spreading (Control)	1.47 a	0.51 cd	22.39 cd
جنگل اوکالیپتوس- پخش‌سیلاب- نوار اول Eucalypt forest- with flood spreading-stripe 1	1.23 b	1.68 a	61.86 a
جنگل اوکالیپتوس- نوار دوم Eucalypt forest- with flood spreading-stripe 2	1.43 a	0.86 b	36.83 b
جنگل اوکالیپتوس- نوار سوم Eucalypt forest- with flood spreading-stripe 3	1.07 c	0.71 bc	22.78 cd
جنگل‌آکاسیا- پخش‌سیلاب Acacia forest- with flood spreading	1.41 a	0.55 cd	23.14 cd

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند
*In each column, means with similar letters, have not significant at P<0.05 by Duncan test

مقایسه‌ی میانگین متغیرهای مربوط به خاک

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در کاربری‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

مقایسه‌ی میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک، در کاربری‌های مختلف، نشان داد که جنگل اوکالیپتوس (نوار سوم) در سامانه‌های پخش‌سیلاب دارای کم‌ترین جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با سایر کاربری‌ها بود و تفاوت این کاربری با کاربری‌های دیگر از نظر آماری معنی‌دار گردید. نوار اول جنگل اوکالیپتوس دارای بیش‌ترین درصد کربن آلی و بیشترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک بود و تفاوت آماری این دو ویژگی در این کاربری با سایر کاربری‌ها معنی‌دار شد. در میان کاربری‌های مورد بررسی، کم‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن مربوط به کاربری‌های شاهد و مرتع قرق بدون پخش‌سیلاب بود.

جدول ۳- تجزیه‌ی واریانس تأثیر کاربری و گونه‌ی گیاه بر وزن‌خشک و ذخیره‌ی کربن در گونه‌های مرتعی غالب

Table 3- Analysis of variance of effects of land use and plant species on dry weight and stored carbon by dominant range species

منابع تغییرات Variations resources	درجه‌ی آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squeres	
		وزن خشک Dry weight	ذخیره‌ی کربن در گیاه Carbon stored in plant
تکرار Replication	2	106633.54	25135.59
کاربری Land use	2	958444.36**	238592.15**
گونه‌ی گیاه Plant species	2	569732.67**	133096.90**
گونه‌ی گیاه× کاربری Plant species *Land use	4	493006.06**	153426.49**
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variations (%)	-	21.66	18.89

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

**Significant at P< 0.10

جدول ٤- اثر متقابل کاربری و گونه‌ی گیاهی بر میانگین وزن خشک و ذخیره‌ی کربن توسط گیاهان مرتعی غالب

Table 4- Interaction of land use and species on mean dry weight and carbon storage by dominant rangeland plants

کاربری Land use	گونه‌ی گیاه Plant species	وزن خشک Dry weight (kg/ha)	ذخیره‌ی کربن Stored carbon (kg/ha)
بدون قرق- بدون پخش‌سیلاب (شاهد) With grazing-without flood spreading (Control)	هلیانتموم *Heliantemum lippii*	671.63 c	381.90 d
	دندورا *Dendrostellera lessertii*	1145.88 b	638.00 c
	درمنه *Artemisia sieberi*	10025.5 bc	547.10 cd
بدون قرق- پخش‌سیلاب With grazing-with flood spreading	هلیانتموم *Heliantemum lippii*	2013.94 a	1106.20 a
	دندورا *Dendrostellera lessertii*	1609.13 a	884.50 b
	درمنه *Artemisia sieberi*	780.99 bc	429.30 cd
قرق- بدون پخش‌سیلاب Without grazing-without flood spreading	هلیانتموم *Heliantemum lippii*	807.79 bc	456.80 cd
	دندورا *Dendrostellera lessertii*	1150.40 b	645.60 c
	درمنه *Artemisia sieberi*	655.50 c	478.60 cd

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

*In each column, means with similar letter, have not significant at P<0.05 by Duncan test

تجزیه‌ی واریانس ویژگی‌های مربوط به گیاهان مرتعی

نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر کاربری بر وزن‌خشک و ذخیره‌ی کربن به‌وسیله‌ی سه گونه‌ی مرتعی هلیانتموم، دندورا و درمنه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود که اثر کاربری، گونه‌ی گیاه و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک گیاه و میزان ذخیره‌ی کربن در گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است.

تجزیه‌ی واریانس اثر متقابل نوع کاربری و گونه‌های مرتعی

اثر متقابل کاربری و گونه‌ی گیاهی بر وزن خشک گیاه و ذخیره‌ی کربن به‌وسیله‌ی گیاه در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود گونه‌های مرتعی هلیانتموم و دندورا در کاربری بدون قرق با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین وزن خشک و گونه هلیانتموم در این کاربری، بیش‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن را به خود اختصاص داده است. این موضوع نشان می‌دهد که تأثیر پخش‌سیلاب بر تولید زیست‌توده‌ی گیاهی و ذخیره‌ی کربن بیش‌تر از تأثیر قرق بر این شاخص‌ها بوده است. در همه کاربری‌ها، گونه‌ی درمنه کم‌ترین وزن خشک و ذخیره‌ی کربن را نشان داد.

میانگین کل ذخیره‌ی کربن در کاربری‌های مختلف

جدول ۵ کل ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاهان کاربری‌های مختلف و ارزش زیست‌محیطی آن را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مشخص می‌شود بیش‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و درختان کاربری جنگل اوکالیپتوس با پخش‌سیلاب و در نتیجه بیشترین مجموع (کل) ذخیره‌ی کربن در این کاربری اتفاق افتاده است. کم‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه در کاربری مرتع بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) و در نتیجه کم‌ترین مقدار کل ذخیره‌ی کربن به این کاربری اختصاص داشته است.

جرم مخصوص ظاهری خاک در عرصه‌ی جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس (نوار سوم) به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داد. علت کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک در کاربری جنگل اوکالیپتوس (جدول ۲)، می‌تواند وجود ریشه‌های سطحی درختان اوکالیپتوس و تجمع مواد آلی از جمله لاشبرگ درختان این عرصه و عرصه‌های ۱ و ۲ در سطح خاک باشد. مقایسه‌ی میانگین درصد تخلخل خاک و ضریب پوکی در کاربری‌های مختلف، نشان داد که جنگل متراکم اوکالیپتوس در سامانه‌های پخش‌سیلاب، در مقایسه با سایر کاربری‌ها، باعث افزایش معنی‌دار این ویژگی‌ها شده‌اند (۲۶). کم‌ترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک، بیش‌ترین درصد تخلخل، ضریب پوکی و درصد کربن آلی در خاک عرصه‌های با جنگل متراکم اوکالیپتوس گزارش گردید (۲۶).

جدول ۵- برآورد میزان کل ذخیره‌ی کربن (مگا گرم در هکتار) و ارزش زیست‌محیطی آن (میلیون‌ریال) در کاربری‌های مختلف

Table 5- Estimation of total stored carbon (Mg/ha) and its environmental value (million rials) in different land uses

عرصه Field	ذخیره‌ی کربن در خاک Carbon stored in soil	ذخیره‌ی کربن در گیاه Carbon stored in plant	ذخیره‌ی کربن در لاشبرگ Carbon stored in litter	کل ذخیره‌ی کربن Total stored carbon	ارزش زیست‌محیطی Environmental value
مرتع-بدون پخش‌سیلاب-بدون قرق Range- without flood spreading with grazing	6.22	1.60	-	7.82	241.075
مرتع-قرق-بدون پخش‌سیلاب Range- without grazing-without flood spreading	8.60	2.61	-	11.21	345.582
مرتع-بدون قرق-پخش‌سیلاب Range-with grazing with flood spreading	18.26	2.42	-	20.68	637.523
مرتع-آتریپلکس دست‌کاشت-بدون قرق-پخش‌سیلاب Range-Atriplex cultivated-with grazing-whit flood spreading	24.12	4.16	-	28.28	871.816
جنگل شاهد اوکالیپتوس-بدون پخش‌سیلاب Eucalpt forest- without flood spreading (Control)	22.39	13.04	8.30	43.73	1348.108
جنگل اوکالیپتوس-پخش‌سیلاب* Eucalpt forest- with flood spreading*	40.49	77.35	4.00	121.84	3756.083
جنگل آکاسیا-پخش‌سیلاب Acacia forest- with flood spreading	23.14	34.06	6.55	63.75	1965.285

* میانگین نوارهای اول، دوم و سوم که با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند

* Means of stripes 1, 2, and 3 that irrigated via flood spreading.

بیش‌ترین مقدار کربن آلی در خاک نوار اول جنگل متراکم اوکالیپتوس مشاهده گردید و علت آن می‌تواند آبگیری بیش‌تر این نوار نسبت به نوارهای دوم و سوم باشد. کم‌ترین میزان کربن آلی مربوط به کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب (شاهد) بود. در اثر پخش‌سیلاب در مرتع، میزان کربن آلی از ۰/۱۴ درصد به ۰/۴۳ درصد یعنی بیش از دو برابر افزایش یافت (جدول ۲). قرق مرتع بدون پخش‌سیلاب نتوانست باعث افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی خاک شود. بنابراین، مشخص می‌گردد وجود رطوبت در خاک که از طریق پخش‌سیلاب تأمین شده، در این شرایط مهم‌تر از تأثیر قرق می‌باشد.

کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب و بدون قرق (شاهد)، باعث ذخیره‌ی کربن در خاک به‌میزان ۶/۲۲ تن در هکتار گردید؛ در صورتی که کاربری مرتع بدون پخش‌سیلاب در شرایط قرق، این میزان ذخیره‌ی کربن را تنها به‌میزان ۱/۳۹ تن در هکتار افزایش داد. در مقایسه با شاهد، پخش‌سیلاب در مرتع، باعث افزایش ذخیره‌ی کربن به‌میزان ۱۲/۰۴ تن در هکتار شد (جدول ۲). عملیات پخش سیلاب در مرتع، میزان ذخیره‌ی کربن خاک را از ۶/۲۲ تن در هکتار در شاهد به ۱۸/۲۶ تن در هکتار یعنی به‌میزان ۱/۹۴ برابر افزایش داد. در صورتی‌که قرق مرتع باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به‌میزان ۳۸/۴۲ درصد بیش‌تر شود (جدول ۲).

عملیات پخش‌سیلاب در مرتع دست‌کاشت آتریپلکس باعث شد میزان کربن آلی و ذخیره‌ی کربن خاک به‌ترتیب از ۰/۱۴ درصد و ۶/۲۲ تن در هکتار در شاهد به‌ترتیب به ۰/۵۴ درصد و ۲۴/۱۲ تن در هکتار افزایش یابد (جدول ۲).

در شرایط بدون پخش‌سیلاب، جنگل‌کاری با اوکالیپتوس، مقدار ۲۲/۳۹ تن در هکتار کربن را در خاک ذخیره نمود. جنگل‌کاری با اوکالیپتوس همراه با عملیات پخش‌سیلاب باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به ۶۱/۸۶ تن در هکتار افزایش یابد. از مقایسه این دو کاربری می‌توان چنین استنباط کرد که پخش‌سیلاب باعث افزایش ۱/۷۶ برابری میزان ذخیره‌ی کربن در خاک گردیده است (جدول ۲). کاشت درختان اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب، میزان کربن آلی خاک را از ۰/۵۱ درصد در کاربری جنگل اوکالیپتوس بدون پخش سیلاب به ۱/۶۸ درصد در نوار اول افزایش داد (۳/۲۹ برابر) کاشت درختان آکاسیا همراه با عملیات پخش‌سیلاب، باعث شد میزان کربن آلی و ذخیره‌ی کربن خاک به‌ترتیب به ۰/۵۵ درصد و ۲۳/۱۴ تن در هکتار افزایش یابد (جدول ۲). افزایش توان حفظ رطوبت خاک، سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی در خاک رویشگاه می‌شود. در اثر پخش‌سیلاب، محیط مناسبی برای رشد گیاهان ایجاد شده زیرا این محیط حاوی عناصر غذایی بیش‌تری بوده و دارای ظرفیت نگهداری آب بیش‌تری می‌باشد که به تکثیر خودبخودی پوشش گیاهی موجود و گونه‌های مهاجم کمک می‌کند (۱۲ و ۳۵). نتایج این پژوهش با نتایج گزارش شده به‌وسیله‌ی سررشته‌داری (۲۷)، کوثر (۱۳)، اسکلاپ و همکاران (۲۹) هماهنگی دارد ولی با نتایج پژوهش‌های فخری و همکاری (۷) و نصرتی و همکاران (۲۲) متناقض است.

جدول ۳ نشان می‌دهد که در کاربری بدون قرق و بدون پخش سیلاب (شاهد)، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. در این کاربری، وزن خشک تولید شده توسط گونه‌های هلیانتموم و درمنه، از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوتی با یکدیگر ندارد. گونه‌ی دندورا در مقایسه با گونه‌ی هلیانتموم، وزن خشک بیش‌تری تولید کرده و از این نظر دارای تفاوت معنی‌داری با این گونه می‌باشد. هر چند وزن‌خشک تولید شده توسط گونه‌های دندورا و درمنه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های هلیانتموم و درمنه است. در این کاربری، دو گونه‌ی هلیانتموم و دندورا وزن خشک بیشتری نسبت به گونه‌ی درمنه تولید کرده‌اند. به طوری که از این نظر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین وزن خشک این دو گونه با گونه‌ی درمنه مشاهده می‌شود (جدول ۳).

در کاربری قرق بدون پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و درمنه است. در این کاربری، وزن خشک تولید شده توسط گونه‌های هلیانتموم و درمنه تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند ولی تفاوت وزن خشک گونه‌های دندورا و درمنه با یکدیگر معنی‌دار است (جدول ۳).

در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد)، بیش‌ترین و کم‌ترین میزان ذخیره‌ی کربن به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. در این کاربری، کربن ذخیره شده توسط گونه‌های دندورا و درمنه، از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوتی با یکدیگر ندارد. گونه‌ی دندورا در مقایسه با گونه‌ی هلیانتموم، مقدار کربن بیش‌تری ذخیره کرده و از این نظر دارای تفاوت معنی‌داری با این گونه می‌باشد. هر چند میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌های دندورا و درمنه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (جدول ۳).

در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین کربن ذخیره شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های هلیانتموم و درمنه است. در این کاربری، دو گونه‌ی هلیانتموم و دندورا مقدار کربن بیشتری نسبت به گونه‌ی درمنه ذخیره کرده‌اند. به طوری که از این نظر، تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین میزان کربن ذخیره شده در اندام‌های این دو گونه با گونه‌ی درمنه مشاهده می‌شود.

در کاربری قرق بدون پخش‌سیلاب، بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک تولید شده به‌ترتیب مربوط به گونه‌های دندورا و هلیانتموم است. هر چند، میزان کربن ذخیره شده توسط هر سه گونه‌ی هلیانتموم، دندورا و درمنه تفاوت آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۳ نشان می‌دهد که وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی هلیانتموم به‌ترتیب از ۶۷۱/۶۳ و ۳۸۱/۹۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری مرتع بدون قرق و بدون پخش سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۲۰۱۳/۹۴ و ۱۱۰۶/۲۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری مرتع بدون قرق و با پخش‌سیلاب افزایش یافته و این افزایش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب به‌تنهایی باعث افزایش دو برابری وزن‌خشک و افزایش ۱/۹۰ برابری ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده‌است. در صورتی‌که قرق مرتع به‌تنهایی وزن‌خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این‌گونه را به‌ترتیب به ۸۰۷/۷۰ و ۴۵۶/۸۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به‌میزان ۲۰/۲۵ و ۱۹/۶۱ درصد افزایش داد ولی این افزایش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید. وزن‌خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی دندورا به‌ترتیب از ۱۱۴۵/۸۸ و ۶۳۸/۰۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۱۶۰۹/۱۳ و ۸۸۴/۵۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب افزایش یافته و این افزایش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب به‌تنهایی باعث افزایش ۴۰/۴۳ درصدی وزن‌خشک و افزایش ۳۸/۶۴ درصدی ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده است. در صورتی‌که قرق مرتع به‌تنهایی وزن‌خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این گونه را به‌ترتیب به ۱۱۵۰/۴۰ و ۶۴۵/۶۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به‌میزان ۰/۳۹ و ۱/۱۹ درصد افزایش داد و این افزایش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

با توجه به جدول ۴، وزن خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط گونه‌ی درمنه به‌ترتیب از ۱۰۰۵/۲۵ و ۵۴۷/۱۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب (شاهد) به‌ترتیب به ۷۸۰/۹۹ و ۴۲۹/۳۰ کیلوگرم در هکتار در کاربری بدون قرق و با پخش‌سیلاب کاهش یافته ولی این کاهش‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد، یعنی عملیات پخش‌سیلاب در مرتع باعث کاهش ۲۲/۳۱ درصدی وزن خشک و کاهش ۲۱/۵۳ درصدی ذخیره‌ی کربن توسط این گونه شده است. در صورتی‌که قرق مرتع، وزن‌خشک تولید شده و میزان ذخیره‌ی کربن توسط این گونه را به ترتیب به ۶۵۵/۵۰ و ۴۷۸/۶۰ کیلوگرم در هکتار یعنی به‌میزان ۳۴/۷۹ و ۱۲/۵۲ درصد کاهش داد، هر چند این کاهش‌ها در مقایسه با شاهد از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نگردید. نتایج این پژوهش با نتایج مادیرا و همکاران (۱۶)، دیناکاران و کریشنایا (۶) و زرافشار و همکاران (۳۶) هماهنگی دارد ولی با نتایج فروزه (۸) متناقض است.

از نظر میزان ذخیره‌ی کربن، در نوار اول کاربری جنگل اوکالیپتوس، بیش‌ترین کربن به‌میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار به صورت بافت‌های زنده‌ی گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ، به شکل لاشبرگ در سطح خاک و به‌صورت مواد آلی در خاک ذخیره شده است (جدول ۵).

با توجه به این که هر تن کربن معادل با ۳/۶۷ تن گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ۴۴۷/۱۵ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا در خاک به‌صورت ماده‌ی آلی ذخیره شده است. ارزش اقتصادی-زیست‌محیطی این مقدار کربن ذخیره شده در خاک، معادل ۳/۷۶ میلیارد ریال در هکتار می‌باشد. با توجه به ۳۲ سال پخش‌سیلاب در این عرصه‌ها، هر هکتار از خاک عرصه‌ی جنگل متراکم اوکالیپتوس به‌طور متوسط سالانه ۱۳/۹۷ تن گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا را به‌صورت ماده‌ی آلی در خاک ذخیره کرده است.

افزایش توان حفظ رطوبت خاک، سبب ایجاد شرایط مساعد برای رشد گیاهی و افزایش ذخیره‌ی تولید لاشبرگ و ذخیره‌ی کربن در خاک محیط می‌گردد. به‌طور کلی، می‌توان گفت که کاشت درختان اوکالیپتوس در عرصه‌های پخش‌سیلاب، باعث افزایش مقدار ماده‌ی آلی خاک از طریق اضافه نمودن شاخ و برگ، بقایای ریشه‌ی درختان، بقایای گیاهان رشد کرده در زیراشکوب درختان و به‌دنبال آن افزایش فعالیت جانوران خاکزی، قارچ‌ها و باکتری‌ها شده است. افزایش ۳۴ و ۲۴ برابری جمعیت کل باکتری‌ها، افزایش ۹/۸ و ۴/۲ برابری تعداد باکتری‌های نیتریت‌ساز به‌ترتیب در مکان‌هایی که اوکالیپتوس کاشته شده و مراتع طبیعی همراه با پخش سیلاب و افزایش ۱/۷ برابری تعداد باکتری‌های نیترات‌ساز در محل‌هایی که اوکالیپتوس کاشته شده و با پخش‌سیلاب آبیاری می‌شوند در مقایسه با مرتع بدون پخش‌سیلاب (شاهد) گزارش شده است (۲۵). نتایج این پژوهش با نتایج بردبار (۴)، نجم‌الدینی (۱۹) و مادیرا و همکاران (۱۶) هماهنگی دارد.

مادیرا و همکاران (۱۶) نشان دادند که میزان افزایش کربن موجود در توده‌ی اوکالیپتوس گلوبولوس با تیمارهای مختلف شامل آبیاری، آبیاری و کوددهی، شاهد پس از گذشت ۶ سال، به‌ترتیب ۵/۸۶ و ۷/۸۶، ۷/۸۷ و ۱۱/۴۰ کیلوگرم بر مترمربع بود. آن‌ها چنین نتیجه‌گیری کردند که کمبود رطوبت، مهم‌ترین عامل محدود کننده‌ی رشد است. حسینی و همکاران (۱۰)، گزارش کردند هر هکتار از جنگل‌های پارک کیاسر مازندران ۱۷/۶۱ تن گاز دی‌اکسیدکربن هوا را جذب می‌کند.

با توجه به جدول ۵، مشخص می‌شود که در عرصه‌های مرتعی، مقدار کربن ذخیره شده در خاک در مقایسه با گیاه بیش‌تر است. به طوری که سهم خاک در مرتع بدون قرق و بدون پخش‌سیلاب

(شاهد) ۷۹/۵۴ درصد و سهم گیاه ۲۰/۴۶ درصد و در مرتع قرق و بدون پخش‌سیلاب، سهم خاک در ذخیره‌ی کربن ۷۶/۷۲ درصد و سهم گیاه ۲۳/۲۸ درصد محاسبه گردید.

قرق مرتع به‌تنهایی باعث شد که میزان ذخیره‌ی کربن در خاک به‌میزان ۳۸/۲۶ درصد یعنی از ۶/۲۲ به ۸/۶۰ تن در هکتار و میزان ذخیره‌ی کربن در گیاه به‌میزان ۶۳/۱۲ درصد یعنی از ۱/۶۰ به ۲/۶۱ تن در هکتار افزایش یابد، در صورتی‌که پخش‌سیلاب در مرتع باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه نسبت به شاهد، به‌ترتیب به ۱۸/۲۶ و ۲/۴۲ تن در هکتار و ارزش اقتصادی کل کربن ذخیره شده از ۲۴۱/۰۷۵ به ۶۳۷/۵۲۳ میلیون‌ریال افزایش یابد.

کاشت درختان اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب باعث شد میزان ذخیره‌ی کربن در خاک و گیاه از ۲۲/۳۹ و ۱۳/۰۴ تن در هکتار در کاربری جنگل‌کاری با اوکالیپتوس بدون پخش‌سیلاب به‌ترتیب به ۴۰/۴۹ و ۷۷/۳۵ تن در هکتار و ارزش اقتصادی کل ذخیره‌ی کربن از ۱۳۴۸/۱۰۸ به ۳۷۵۶/۰۸۳ میلیون ریال افزایش یابد. کاشت درختان آکاسیا همراه با عملیات پخش‌سیلاب، کل ذخیره‌ی کربن را به ۶۳/۷۵ تن در هکتار و ارزش اقتصادی کل ذخیره‌ی کربن را به ۱۹۶۵/۲۸۵ میلیون‌ریال افزایش داد. تمرتاش و همکاران (۳۲) اظهار کردند که ذخیره‌ی کربن در خاک با درصد پوشش گیاهی، نوع گونه‌های گیاهی، مقدار لاشبرگ و بقایای گیاهی، نوع کاربری اراضی و مدیریت ارتباط دارد؛ به طوری که اگر در منطقه‌ای، پوشش گیاهی خوب مستقر شود، در بلند مدت کربن آلی خاک افزایش می‌یابد.

بین میزان کربن ذخیره شده کل و کربن آلی موجود در خاک رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. بنابراین، می‌توان گفت که مدیریت مناسب اراضی مرتعی، تأثیر قابل توجهی در افزایش ذخیره‌ی کربن در گیاه و خاک دارد. از آنجا که زیست‌توده‌ی گیاهی نقش مؤثری در ذخیره‌ی کربن و کاهش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن دارد؛ بنابراین هر گونه اقدامی که باعث افزایش پوشش گیاهی گردد، به‌طور غیر مستقیم در بهبود ذخیره‌ی کربن تأثیرگذار خواهد بود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در کاربری جنگل اوکالیپتوس همراه با پخش‌سیلاب، بیش‌ترین ذخیره‌ی کربن به‌میزان ۱۲۱/۸۴ تن در هکتار به‌صورت بافت‌های زنده‌ی گیاهی شامل تنه، شاخه و برگ، به‌شکل لاشبرگ در سطح خاک و به‌صورت موادآلی در خاک صورت گرفته است. با توجه به‌این‌که این مقدار ذخیره و ترسیب کربن در طی ۳۲ سال گذشته اتفاق افتاده، نرخ سالانه‌ی ذخیره‌ی کربن در این کاربری، معادل ۳/۸۰ تن در سال در هکتار محاسبه گردید.

کاربری‌های مختلف پخش سیلاب به‌ویژه عرصه‌ی جنگل‌کاری شده با اوکالیپتوس در ایستگاه کوثر، باعث شده مقادیر قابل‌توجهی گاز دی‌اکسیدکربن موجود در هوا به‌صورت ماده‌ی آلی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان موجود در عرصه‌ها و در خاک ذخیره و ترسیب شده و مقادیر زیادی گاز اکسیژن نیز وارد محیط شده و از این نظر، نقش مهمی را در کاهش آلودگی هوا ایفا نموده است.

نتیجه‌گیری

با نگاهی به ارزش اقتصادی- زیست‌محیطی کربن ذخیره شده در کاربری‌های مختلف، می‌توان گفت که عرصه‌های جنگل دست‌کاشت اوکالیپتوس، توانسته‌اند بیش‌ترین ارزش را ایجاد کنند. بنابراین، توسعه‌ی کاشت درختان جنگلی در مناطق مستعد پخش‌سیلاب از نظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر است. با توجه به پتانسیل بالای گونه‌های درختی در بهبود ذخیره‌ی کربن خاک، به نظر می‌رسد که افزایش درصد چوبی شدن گونه‌ها و تفاوت‌های فیزیولوژیکی باعث افزایش توان ذخیره‌ی کربن به‌وسیله‌ی این گونه‌ها شده است. بنابراین به منظور بهبود توان ذخیره‌ی کربن در سامانه‌های پخش‌سیلاب، پیشنهاد می‌شود کاشت گونه‌های بومی و سازگار چندساله در این سامانه‌ها به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش گاز آلاینده‌ی دی‌اکسید کربن موجود در هوا و در نتیجه، کاهش اثرات تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Badeian Z. 2006. Relation between carbon stock and pH in the organic and mineral soil layers of a mixed forest of beech. A master thesis in faculty of natural forest, Tehran University, 69 p. (In Persian with English abstract)
2. Badeban Z., Mashayekhi Z., Zebardast L., and Mobrghee N. 2014. Economic Valuation of Carbon Sequestration Function in the Mixed and Pure Beech Stands (Case study: Kheyrud Forests). Environmental Researches 15(9):147-156. (In Persian with English abstract)
3. Batjes N.H. 2019. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. Land Degradation & Development 30(1):25-32.
3. Bordbar S.K. 2005. Study of carbon storage potential in eucalyptus and acacia forests in western regions of Fars province, Ph.D. thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 153 p. (In Persian with English abstract)
5. Bruce J.P., Frome M., Haites E., Joanne H., Lal R., and Faustion K. 1999. Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation 1:124-139.
6. Dinakaran J., and Krishnayya N.S.R. 2008. Variations in type of vegetal cover and heterogeneity of soil organic

carbon in affecting sink capacity of tropical soils. Current Science 94(9):1144-1150.
7. Fakhri F., Jafari M., Mahdian M.H., and Azarnivand H. 2005. The effect of water spreading on soil physicochemical charactheristics at Tangestan Research Station, Boushehr Province. Iranian Journal of Range and Desert Research 12(3): 233-248. (In Persian with English abstract)
8. Forouzeh M.R. 2006. Investigation of carbon sequestration of soil and mass outpatient species of dominant plants in the distribution area of Sarbaygan Gorgan, Fasa, Master's Thesis in Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 75 p. (In Persian with English abstract)
9. Ghahari G.R. 2019. Vegetation monitoring of Kowsar research aquifer management station, Annual report of research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 55 p. (In Persian with English abstract)
10. Hosseini S., Amirnejad H., and Oladi J. 2017. The valuation of functions and services of forest ecosystem of Kiasar National Park. Agricultural Economic 11(1): 211-239. (In Persian with English abstract)
11. Köchy M., Hiederer R., and Freibauer A. 2015. Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. SOIL, 1:351-365.
12. Kowsar S.A. 1992. Desertification control through floodwater spreading in Iran. Unasylva 168(43): 27-30.
13. Kowsar S.A. 1997. Aquifer management: A key to food security in the deserts of Iran. Proceeding of 8th International. Conference on Rainwater Catchment Systems, Vol. 2, Tehran, Iran, pp. 990-996. (In Persian with English abstract)
14. Lal R. 2005. Soil carbon sequestration in natural and managed tropical forest ecosystems. Journal of Sustainable Forestry 21:1-30.
15. Lal R., Smith P., Jungkunst H.F., Mitsch W.J., Lehmann J., Nair P.R., and Skorupa A.L. 2018. The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. Journal of Soil and Water Conservation 73(6): 145A-152A.
16. Madeira M.V., Fabiao A., Pereira J.S., Araajo M.C., and Ribeiro C. 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globules* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. Forest Ecology and Management 171: 75-85.
17. Mahdavi K.H., Sanadgol A., Azarnivand H., Babai Kafaki S., Jafari M., and Mahdavi F. 2009. The investigation of the effect of row spacing *Atriplex lentiformis* on carbon sequestration and comparsion of row spacing *Atriplex lentiformis* in planting project in rangelands (Case study: Esfahan Province). Plant and Ecosystem 5(17): 19-29. (In Persian with English abstract)
18. Mahmoudi Taleghani E., Zahedi Amiri Gh., Adeli E., and Sagheb-Talebi Kh. 2007. Assessment of carbon sequestration in soil layers of managed forest. Iranian Journal of Forest and Poplar 15(3): 241-252. (In Persian with English abstract)
19. Najmoddini N. 2013. Effects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case Study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, 23 August 2013, Urmia, Iran. (In Persian with English abstract)
20. Nelson D.W., and Sommers L.P. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter, pp. 539–579. In: Page, A.L. (ed.), Methods of Soil Analysis: Part 2, Agronomy Handbook No 9, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
21. Nobakht A.A., Pourmajidian M.R., Hojjati S.M., and Fallah A. 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). Iranian Journal of Forest 3(1): 13-23. (In Persian with English abstract)
22. Nosrati K., Mohammadi Z., and Nazari Samani A.A. 2014. The effect of Zahab plain floodwater spreading on soil organic carbon. Stock Quarterly Journal of Environmental Erosion Research 4(2):12-22. (In Persian with English abstract)
23. Rice C.W. 2000. Soil organic C and N in rangeland soils under elevation CO_2 and land management. Proceedings of the Advances in Terrestrial Ecosystem Carbon Inventory, Measurements and Monitoring Conference, October 3-5, 2000, Raleigh, North Carolina, pp: 15-24.
24. Rivers N. 2014. The Case for a carbon tax in Canada 2020. Article available athttp://canada2020.ca/canada-carbon-tax/.
25. Rousta M.J. 2007. The study of bacterial community in different land use and flood spreading. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 21(1): 121-128. (In Persian with English abstract)
26. Rousta M.J., Soleimanpour S.M., Enayati K., Mesbah S.H., Keshavarzi H., Kamali K., Jowkar L., Kowsar S.A., Nekoeiyan G.A., and Feridonian A.N. 2018. The effect of thirty years of flood spreading on some physical properties of the soil in different uses in Kowsar station. 13th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. 10 and 11 October 2018, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil. (In Persian with English abstract)
27. Sarreshtehdari A. 2004. Impact assessment of flood spreading project on infiltation rate and soil fertility. Pajouhesh

& Sazandegi 17(62): 83-92. (In Persian with English abstract)
28. Scharlemann J.P.W., Tanner E., Hiederer R., and Kapos V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. Carbon Management 5(1):81-91.
29. Schlup C.J.E., Naburus G.J., Verburg P.H., and Waal R.W. 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. Forest Ecology Management 256: 482-490.
30. Shabanian N., Heydari M., and Zeinivandzadeh M. 2010. Effect of afforestation with broad leaved and conifer species on herbaceous diversity and some physico-chemical properties of soil (Case study: Dushan Afforestation-Sanandaj). Iranian Journal of Forest and Poplar Research 18(3): 437-446. (In Persian with English abstract)
31. Smith P., Soussana J.F., Angers D., Schipper L., Chenu C., Rasse D.P., and Arias-Navarro C. 2020. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. Global Change Biology 26(1): 219-241.
32. Tamartash R., Tatian M.R., and Yousefian M. 2012. Influence of different species on the carcinogenicity of the plant in the range of Imangaleh. Ecology 38(62): 45-54. (In Persian with English abstract)
33. Tifafi M., Guenet B., and Hatté C. 2018. Large differences in global and regional total soil carbon stock estimates based on SoilGrids, HWSD, and NCSCD: Intercomparison and evaluation based on field data from USA, England, Wales, and France. Global Biogeochemical Cycles 32(1): 42-56.
34. Varamesh S., Hosseini S.M., Abdi N., and Akbarinia M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. Iranian Journal of Forest 2(1): 25-35. (In Persian with English abstract)
35. Yazdian A.R., and Kowsar S.A. 2003. The Agha Jari Formation: A potential source of ammonium and nitrate nitrogen fertilizers. Journal of Agricultural Sciences and Technology 5: 153-163.
36. Zarafshar M., Bazot S. Matinizadeh M., Bordbar S.K., Rousta M.J., Kooch Y., Enayati K., Abbasi A., and Negahdarsaber M. 2020. Do tree plantations or cultivated fields have the same ability to maintain soil quality as natural forests?. Applied Soil Ecology 151: 1-10.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 6, Jan.-Feb. 2021, p. 1323-1336

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۳۹۹، ص. ۱۳۳۶-۱۳۲۳

Assessment of Environmental Performance of Flood Spreading with Respect to Carbon Sequestration in Soil and Plant

M.J. Rousta[1*]- K. Enayati[2]- S.M. Soleimanpour[3]- K. Kamali[4]

Received: 04-11-2020
Accepted: 19-12-2020

Introduction: Carbon sequestration (CS) by forests, pastures, afforested stands and soils is the most appropriate way to reduce atmospheric carbon. A combination of all these activities can help balance the global warming process by reducing the concentration of atmospheric CO_2. The amount of CS and quality of carbon storage in the soil depends on the interaction between climate, soil, tree species, litter chemical composition and their management. The results of Dinakaran and Krishnayya (2008) research showed that the type of vegetation cover has a significant effect on soil carbon storage. So that the amount of carbon storage in the soil depends on the amount of carbon entering the soil through plant debris and carbon loss through decomposition. To increase carbon in the soil, management activities such as increasing the amount of carbon entering the soil by adding litter and crop residues as well as reducing the rate of decomposition of soil organic matter should be done. Decomposition rate of soil organic matter is affected by soil condition (humidity, temperature and access to oxygen), sequestration of organic matter, placement of organic matter in the soil profile and the degree of physical protection by aggregates.

Evaluating the role of aquifer management in reducing via storing the atmospheric CO_2, to organic carbon (O.C) is the aim of this study.

Materials and Methods: The studied land uses were as follows: 1-Rangeland-without flood spreading-with grazing (control), 2- Range without grazing-without flood spreading, 3- Six rangelands stripes-with grazing-with flood spreading, 4- Rangeland-Atriplex plantation-with spreading of flood, 5- Eucalyptus control forest-without flood spreading, 6- Eucalyptus forest-first strip-with flood spreading-BisheZard 4 (BZ4), 7- Eucalyptus forest-second strip-with flood spreading-(BZ4), 8- Eucalyptus forest-third strip-with flood spreading-(BZ4), 9- Acacia forest-with flood spreading-(BZ4). Soil and plant were sampled from each land use type. Then, the amount of O.C was measured in the laboratory and CS was calculated. The economic-environmental value of carbon stored in the soil is based on Rivers' proposal, which declares a carbon tax rate of $200 per tonne of CO_2. The dollar is equal to 42,000 Iranian rials. Data were analyzed using randomized complete block design and Duncan test (at $P<0.05$) was used to compare mean values using the SAS software.

Results and Discussion: The analysis of variance showed that the effect of different land uses on the bulk density (BD), %O.C and the CS in the soil was significant at the level of 1%. Comparison of the mean of BD in various land uses showed that the eucalyptus forest (third strip) had the lowest BD compared to others, and the difference between this land use and other land uses was statistically significant. The first strip of Eucalyptus forest had the highest %O.C and the highest amount of CS in the soil, and the statistical difference between these two indices in this land use with other land uses was significant. Among the studied land uses, the lowest amounts of CS were related to the control range and range without grazing-without flood spreading. The interaction of plant to plant species on plant dry weight and plant carbon storage showed that the rangeland species of *Heliantemum lippii* and *Dendrostellera lessertii* in the range with flood spreading have the highest dry-weight and the species of Helianthomus has the highest amount of carbon storage. This indicates that the impacts of flood spreading on plant biomass production and carbon storage have been greater than the impact of no grazing on these indicators. In all uses, *Artemisia sieberi* showed the lowest dry weight and carbon storage.

1, 2 and 3- Associate Professor, M.Sc., and Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.roosta@areeo.ac.ir)
4- Research Instructor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2020.15049.0

Planting of *Eucalyptus camaldulensis* irrigated with flood water spreading increased the soil O.C from 0.51% in the control to 1.68% in the first strip of eucalyptus forest (3.29 times). By calculating the mean of the three strips in which the eucalyptus was planted, it was found that the highest carbon content of 121.84 ton/ha was stored in the plant, litter and soil of this land use. Given that, each tonne of carbon is equivalent to 3.67 tons of CO_2 gas, it can be concluded that 447.15 tonnes of CO_2 gas from the air is stored as organic matter. The economic-environmental value of this CS is 3.76 billion rials ($89523.81) per hectare.

Conclusion: The studied land that was irrigated with flood spreading, especially the eucalyptus forested area at Kowsar station, captured significant amounts of CO_2 from the air and stored it as organic matter in the root and shoot of plants and in the soil. Also, this may lead to the release of a large amount of oxygen gas to the environment which play an important role in reducing air pollution. Considering the economic-environmental value of the carbon stored in the eucalyptus plantation forest areas, the development of this method in flood prone areas is quite economically justifiable. Due to the high potential of tree species in improving soil carbon storage, it seems that increasing the percentage of woody species and their physiological diversity have increased the carbon storage capacity of these species. Therefore, in order to improve the carbon storage capacity of flood distribution systems, it is suggested that the planting of native and perennial compatible species in these systems should be considered.

Keywords: Acacia, Carbon stock, Eucalyptus, Fars, Flood spreading